

Elektromágneses módszerfejlesztések a mérési adatokban lévő földtani információ hatékonyabb és stabilabb feltárása céljából

OTKA-azonosító: 46765

Szakmai zárójelentés

vezető kutató:

Turai Endre

Miskolc, 2008.

Bevezetés

Az „Elektromágneses módszerfejlesztések a mérési adatokban lévő földtani információ hatékonyabb és stabilabb feltárása céljából” c. 4 éves időtartamú kutatási téma utolsó évében féléves hosszabbítást kértünk, mivel a legújabb eredményeket még 2008. tavaszán szerettük volna nemzetközi fórumokon közzétenni. A féléves halasztást megkapva, az új eredményeket 3 db. nemzetközi (70th EAGE Conference & Exhibition 2008, microCAD'2008. és IV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia) és egy hazai (Inverziós Ankét 2008.) konferencián is közzé tettük.

A téma szakmai és pénzügyi zárásának időpontja: 2008. augusztus 31.

A kutatás három résztéma keretein belül folyt.

A kitűzött célokat mindhárom résztémában sikerült maradéktalanul elérni, ill. néhány esetben azokon túl is lépni.

A téma keretében született eredmények elérését az alábbi munkatársak tevékenysége segítette elő.

Vezető kutató:

Dr. Turai Endre

Kutatók:

Dr. Dobróka Mihály,
Dr. Takács Ernő,
Dr. Szabó Norbert Péter

Doktorandusz (PhD) hallgatók:

Vass Péter (2005-2008),
Szabó István (2004-2006),
Herczeg Ádám (2007-2008)
Kavanda Réka (2007-2008)

Egyetemi (MS) hallgatók:

Vass Péter (2004),
Barcsák Gergely (2005-2006),
Herczeg Ádám (2006-2007)

Adminisztratív és kutatássegítő tevékenységet végzők:

Kopcsa Józsefné,
Kulcsár László,
Varga Mihályné

Az alábbiakban résztémánként foglaljuk össze az elért eredményeket.

Az eredmények rövid összefoglalása

3D elektromágneses (EM) globális inverziós szoftvereket fejlesztettünk ki. A szoftverekkel felszínközeli olajszennyezések inverziós rekonstrukcióját végeztük el.

Az EM módszerek esetére GIS alapú fejlesztést végeztünk, s GeoMedia Open GIS alatt működő rendszert hoztunk létre, amely lehetővé teszi az EM és IP paraméterek komplex képi és numerikus elemzését.

Sikeresen pályáztunk az Intergraph RRL programjába. GeoMedia WebMap alatt kifejlesztettük a GIS alapú rendszer hálózati kliens verzióját.

Vizsgáltuk a felszín közeli vetős szerkezetek és a csővezetékek hatását a Hz és az Ex/Hy térkomponensek amplitúdó- és fázisviszonyaira. A béléscsőves gerjesztésű geoelektromos szondázások adatainak inverziójára elkészült a „Cube3Dinv” elnevezésű program, melyben a direkt feladat megoldása integrálegyenletes módszerrel történik.

Az IP módszer esetén elvégeztük az időállandó spektrum inverziós számításának továbbfejlesztését. Megoldottuk az időállandó spektrum, Fourier-spektrumok segítségével történő meghatározását.

A korábbi terepi mérések adatainak újrafeldolgozása mellett négy szennyezett területen új terepi méréseket is végeztünk. Az eredmények igazolták, hogy a szennyezettség mértékének a becslésére alkalmas az időállandóval súlyozott amplitúdó érték (WAV). Az időállandó spektrumok alapján a szennyezés szempontjából veszélyesebb redox és fémes hatások által érintett térrészek lehatárolhatók.

A szennyezés lehatárolására bevezettük a korrigált elektromos vezetőképességet.

Sort summary of results

Some 3D electromagnetic (EM) global inversion software had been developed. We perform the inverse reconstruction of near surface oil contaminations using developed software.

GIS based system under GeoMedia Open GIS had been developed for EM Methods, which makes complex image and numerical analysis of EM and IP parameters possible.

Our application for the Intergraph RRL program membership was successful. We developed the network client version of GIS based system.

The effects of the pipes and near surface structures with faults for the amplitude- and phase relation of Hz and Ex/Hy parameters were examined. A software named “Cube3Dinv” for the inversion of geoelectric sounding data using tube for transmission, in which integral equation method are used for the solution of forward problem had been finished.

We elaborated the calculation way of the IP time constant spectra using inverse methods. Determination possibility of time constant spectrum from Fourier spectra had been solved.

We performed four new field measurements over contaminated areas beside the data reprocessing of former field measurements. Results verified that the amplitude value waited with time constant (WAV) suitable for the estimation of the contamination level. Seeing the dangerous contamination types, the areas touched by redox and metallic effects are able to determine on the basis of time constant spectra.

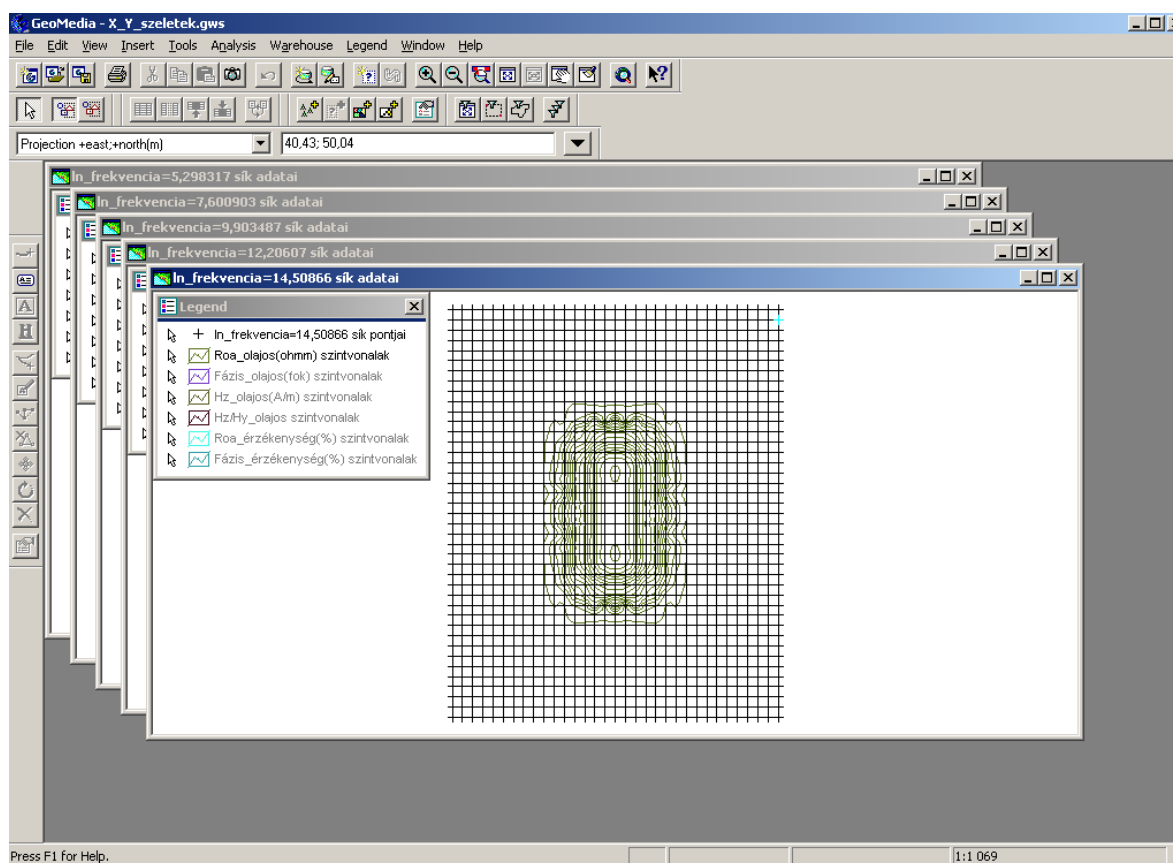
Corrected electric conductivity has been introduced for the mapping of contamination.

Többdimenziós integrálegyenletes numerikus modellezési módszerek fejlesztése (1. résztema)

Résztema vezető: Dr. Turai Endre

Az elvégzett szakirodalom kutatás és az addigi gyakorlati tapasztalatok alapján megkezdjük a térinformatikai alapú algoritmusfejlesztést. Olyan adatbázis szerkezet rendszertervét állítottuk össze, amely a GeoMedia nyitott térinformatikai szoftver alá grafikus-alfanumerikus adatbázis kapcsolatrendszerrel csatlakoztatható, s a modellezéssel kiszámítható elektromágneses paramétereket a térinformatikai rendszer tematikus dimenzióiként definiálva, lehetővé válik az EM paraméterek komplex képi és numerikus elemzése.

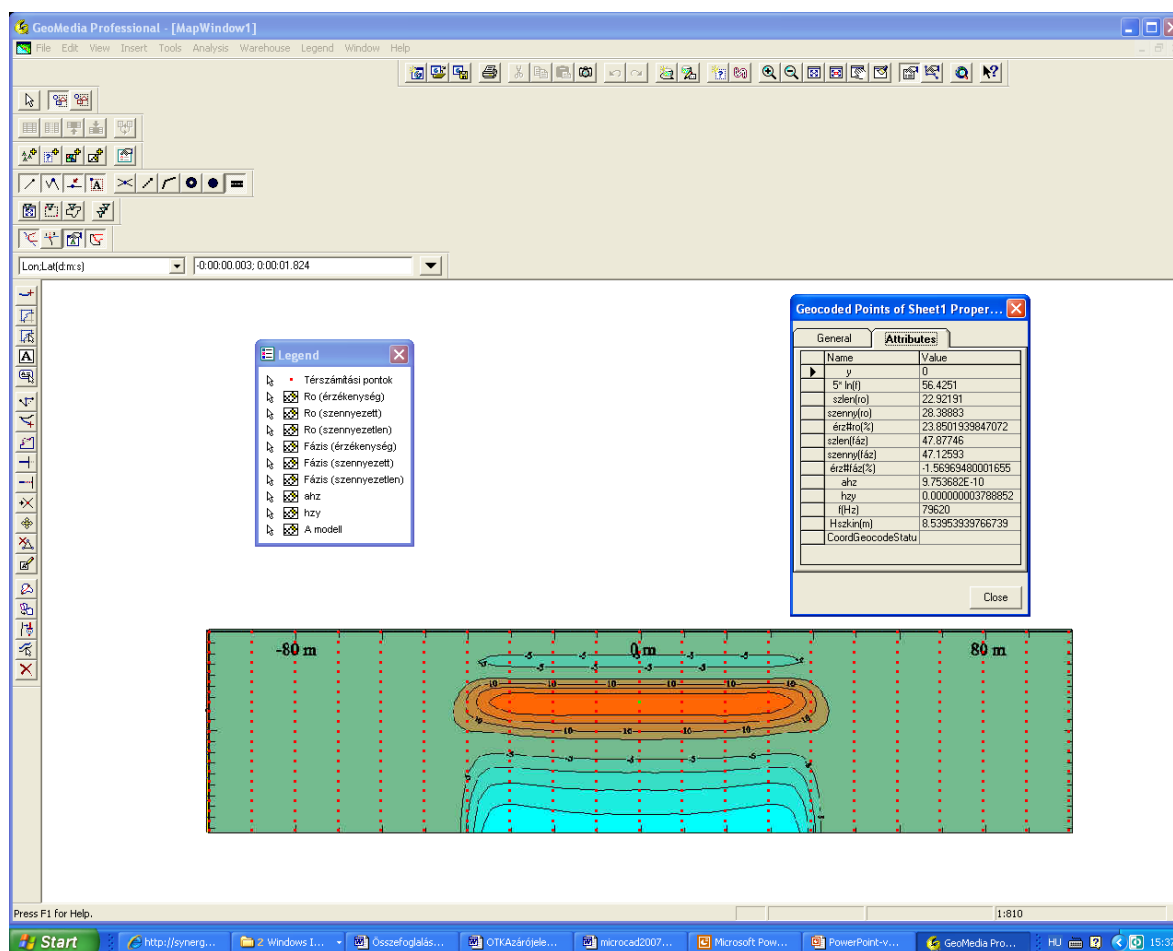
Az előálló 4D+62D adatrendszerből képszeleteléssel térinformatikai hiper-rendszert építettünk fel (4D - a vonatkoztatási rendszer dimenzióinak száma –x,y,z térbeli dimenziók és a frekvencia, 62D - az elektromágneses paraméterek alapján definiált tematikus dimenziók száma). Az 1. ábrán olajszennyezés elektromágneses fajlagos ellenállás képének az automatikusan horizontális képszeletelési eredménye látható. Minden ablakban konstans frekvenciához (s a hozzájuk tartozó behatolási mélységhez) egy-egy GIS rendszer lett a szoftver által felépítve. Jelen esetben a térinformatikai hiper-rendszer 5 db GIS-t tartalmaz.



1. ábra Olajszennyezés fajlagos ellenállás térbeli eloszlásának értékeiből automatikus horizontális képszeleteléssel előállított GIS hiper-rendszer.

A résztémához kapcsolódóan sikeres MS műszaki informatikus diplomavédés történt (Vass Péter 2004: 3D földtani-geofizikai adatrendszerek megjelenítési lehetőségei nyitott térinformatikai rendszer segítségével, mérnök-informatikus MS thesis, tervezésvezető: Dr. Turai Endre).

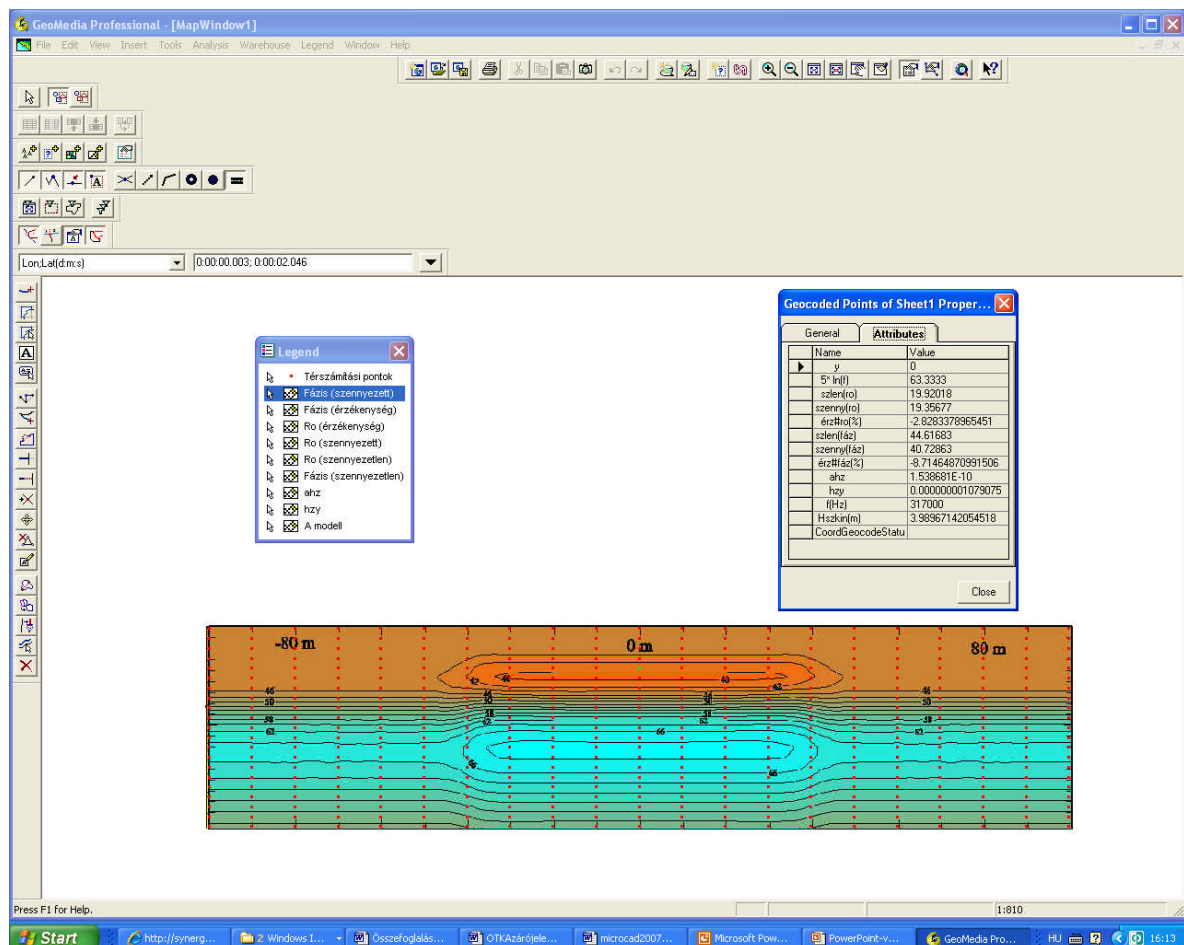
Az elektromágneses (EM) primer (elektromos és mágneses komplex térerősség komponensek) és szekunder (frekvenciafüggő fajlagos ellenállás, impedanciák, impedancia fázis, stb.) paramétereiből összeállított térinformatikai adatbázist fejlesztettünk ki. Az adatbázis tesztadatait a saját fejlesztésű 3D hibrid integrálegyenletes eljárással számítottuk ki felszínközeli olajszennyezést tartalmazó modellek és kommunális hulladéklerakó modellek esetére. A térinformatikai adatbázis alapján a GeoMedia Open GIS alatt működő geoinformatikai rendszert hoztunk létre, az adatok integrált képi és numerikus elemzéséhez. A 2. ábra a GIS felépítését, a fajlagos ellenállás paraméter olajszennyezés érzékenységének vertikális képét és az adatbázisban történt egyik keresés eredményét mutatja.



2. ábra Olajszennyezés elektromágneses paramétereinek elemzésére kifejlesztett GIS felépítése, a fajlagos ellenállás értékek olajszennyezésre való érzékenységének vertikális eloszlásképe és az adatbázisban végzett egyik keresés eredménye.

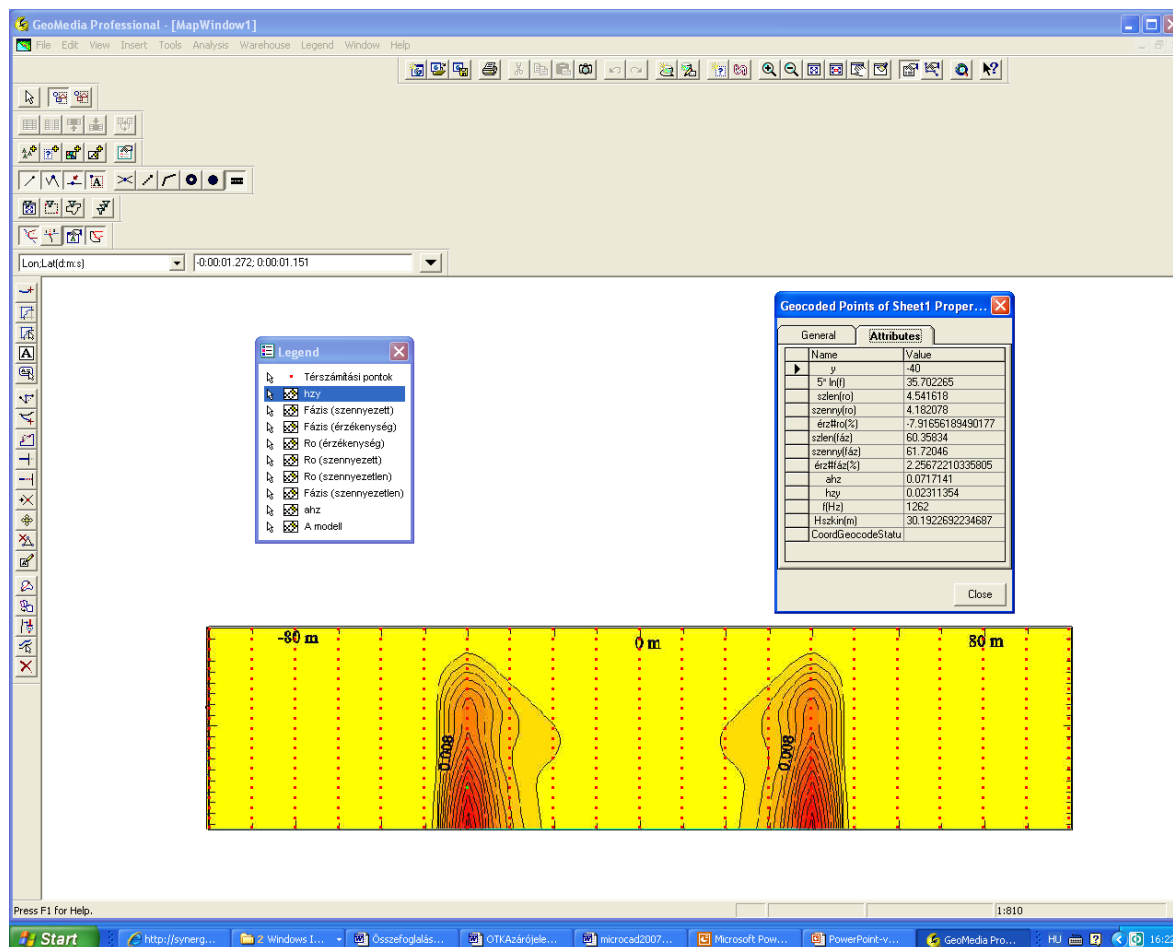
A bemutatott GIS felépítése 2D+10D, ahol a 2D a vonatkoztatási rendszer (X - horizontális koordináta, f - a mélységtengellyel arányos frekvencia), 10D pedig a tematikus dimenziók (1 - térszámítási pontok, 2 - a fajlagos ellenállás értékek olajszennyezésre való

érzékenységének vertikális képe, 3 - a fajlagos ellenállás vertikális eloszlásképe szennyezetlen esetben, 4 - a fajlagos ellenállás vertikális eloszlásképe olajszennyezés esetén, 5 - a impedancia fázis (E_x/H_y) értékek olajszennyezésre való érzékenységének vertikális képe, 6 - az impedancia fázis vertikális eloszlásképe szennyezetlen esetben, 7 - az impedancia fázis vertikális eloszlásképe olajszennyezés esetén, 8 - a vertikális mágneses komponens (H_z) vertikális eloszlásképe olajszennyezés esetén, 9 - a vertikális mágneses komponens horizontális mágneses komponensre normált (H_z/H_y) vertikális eloszlásképe olajszennyezés esetén, 10 - az olajszennyezés modellje) rendszerét adja meg. A 3. ábrán az impedancia fázis értékeinek vertikális eloszlásképét, a 4. ábrán pedig a H_z/H_y paraméter vertikális eloszlásképét mutatja be olajszennyezés esetében a GIS.



3. ábra Olajszennyezés elektromágneses paramétereinek elemzésére kifejlesztett GIS felépítése, az impedancia fázis értékek vertikális eloszlásképe és az adatbázisban végzett egyik keresés eredménye.

Sikeresen pályáztunk az Intergraph RRL (Registered Research Laboratory) programjába és 2006 januárjától az Intergraph által támogatott kutatóhely lettünk (<http://synergy.intergraph.com/orl/catalog.asp?id=1937>), így a cég legújabb szoftvereit használhattuk/használhatjuk fel a tudományos (ezen belül az OTKA témához kapcsolódó) kutatásainkhoz.



4. ábra Olajszennyezés elektromágneses paramétereinek elemzésére kifejlesztett GIS felépítése, a H_z/H_y paraméter vertikális eloszlásképe és az adatbázisban végzett egyik keresés eredménye.

A GIS alapú rendszer hálózati kliens verzióját GeoMedia WebMap alatt fejlesztettük ki. Ez a kutatás-fejlesztési irány két sikeresen megvédett MS diplomamunka (Barcsák G., 2006: GeoMedia WebMap alatti geoinformatikai rendszer fejlesztése, konzulens: Dr. Turai Endre és Vass Péter; Herczeg Á., 2007: A „GEO” adatok közzétételét támogató „GEOMEDIA WEB MAP” alatti rendszer fejlesztése, konzulensek: Dr. Turai Endre és Vass Péter) megszületéséhez is hozzájárult.

A GIS alapú fejlesztéseket segítette, hogy Vass Péter és Herczeg Ádám a Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékére PhD hallgatói ösztöndíjat nyert el és a doktori kutatómunkájuk részben az OTKA témához kapcsolódott.

A résztémában a 3D hibrid integrálegyenletes elektromágneses modellezés stabilitásának növelését célzó fejlesztéseket végeztünk, amely lehetővé tette a globális inverziós rendszerek előremodellezési részében való alkalmazást.

Az előző módon továbbfejlesztett 3D hibrid integrálegyenletes modellező eljárás szubrutinná történt átalakításával végeztük el a többdimenziós elektromágneses (EM) inverziós algoritmusok kifejlesztését. Az algoritmusoknál a globális inverziós módszerek alkalmazhatóságát elemeztük, s az elemzések alapján az SA (Simulated Annealing) és a VFSA (Very Fast Simulated Annealing) inverziós módszer számítógépes algoritmusokban való alkalmazása mellett döntöttünk.

Az algoritmusok alapján 3D hibrid integrálegyenletes elektromágneses térmodellező eljárást felhasználó globális inverziós szoftvereket fejlesztettünk ki (Turai E., Dobróka M. és Szabó N. P.) FORTRAN fejlesztői nyelven, melyeket szintetikus adatrendszeren teszteltünk.

A nagyfrekvenciás tartomány vizsgálatának a céljából felszínközeli 3D olajszennyezések inverziós rekonstrukciójának az elemzését végeztük el az olajszennyezések felett számított EM látszólagos fajlagos ellenállás és a fázis adatok alapján. Az egyik inverziós rekonstrukció eredményét mutatja be az *I. táblázat*. A táblázatból látható, hogy a 7 méter vastag 20 ohmm fajlagos ellenállású homokos fedővel borított 500 ohmm fajlagos ellenállású, 5 ohmm-es zárórétegen elhelyezkedő, 3 méter vastag olajfoltot, 230%-os távolságból biztosan (3.16%) visszaállította a 3D inverziós algoritmus.

Modell paraméterek	$\rho_{cap} (\Omega m)$	$\rho_{oil} (\Omega m)$	$\rho_{base} (\Omega m)$	$H_{oil} (m)$	$H_{cap} (m)$	Adattávolság
Cél modell	20	500	5	3	7	-
Kezdő modell	100.	200.	10.	3.50	6.5	230 %
Inverzióval becsült	20.8	416.7	5.55	2.97	7.03	3.16 %

I. táblázat Olajszennyezés 3D elektromágneses inverziójának eredménye.

A kifejlesztett 3D elektromágneses inverziós módszer a felszínközeli olajszennyezések elemzése mellett a kommunális hulladéklerakók elektromágneses vizsgálatára is alkalmas.

A résztéma eredményeit hazai és nemzetközi tudományos fórumokon, számos publikáció és konferencia előadás formájában tettük közzé. Ezek mellett a résztéma három MS fokozat eléréséhez is hozzájárult.

A részműtárhoz kapcsolódóan, a közzététel időrendjében az alábbi fontosabb tudományos közlések születtek.

Vass P.: **3D földtani-geofizikai adatrendszerek megjelenítési lehetőségei nyitott térinformatikai rendszer segítségével. MS thesis**, Miskolci Egyetem Általános Informatikai Tanszék és Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszék könyvtárai, 2004

Vass P.: **Többdimenziós földtani-geofizikai adatrendszerek elemzését segítő sajátfejlesztésű térinformatikai alapú szoftver**, XXXVI. Ifjú Szakemberek Ankétja, Sarlópuszta, 2005. április 1-2., Konferencia kiadvány, 13-14. o., 2005

Vass P.: **A földtudományi oktatásban alkalmazható, többdimenziós adatrendszerek elemzését segítő térinformatikai alapú szoftver**, XIV. Térinformatika az oktatásban szimpózium, Budapest, 2005. október 26., Konferencia CD kiadványa, terjedelm: 1-8. o., 2005

Vass P.: **Többdimenziós adatrendszerek elemzését segítő szoftver**, 2005 Őszi Ifjúsági Előadói Nap, Miskolc, 2005. december 9., 2005

Barcsák G.: **GeoMedia WebMap alatti geoinformatikai rendszer fejlesztése, MS thesis**, Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszék könyvtára, 2006

P. Vass: **GeoMedia-based System Development for the Visual Analysis of Geological and Geophysical Data Sets**, Intergraph Online Research Library, <http://synergy.intergraph.com/orl/catalog.asp?id=1937>, pp 1-9., 2006

Turai E., Dobróka M., Szabó N. P.: **Elektromágneses Inverzió vizsgálata 3D modellen**, Inverziós Ankét 2006, MTA Miskolci Akadémiai Bizottság Székháza, 2006. március 20-21., 2006

Vass P.: **Sajátfejlesztésű térinformatikai alapú szoftver alkalmazása földtani-geofizikai adatrendszerek elemzésében**, X. Geomatematikai Ankét, Mórahalom, 2006. május 18-20., Internetes konf. kiadv, http://www.sci.u-szeged.hu/foldtan/geomatematikai_szakosztaly/abstracts_2006/VassPéter.pdf, 2006

P. Vass, E. Turai, N. P. Szabó: **GeoMedia-based System Development for water-base and analysis of oil contamination**, microCAD'2007. Miskolc, 22-23 March 2007, Section B: Watermanagement and Environmental Protection, ISBN 978-963-661-744-8, pp. 167-172., 2007

E. Turai, N. P. Szabó, P. Vass: **Analysis of Electromagnetic parameters for the application in Environmental Protection**, III. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Kolozsvár, 2007 március 29-31., Konferencia kiadványa, Ábel Kiadó, 2007., ISBN 1842-9815, pp. 96-100., 2007

E. Turai, N. P. Szabó, P. Vass: **Application Possibilities of Electromagnetic Parameters in Environmental Protection**, XI. Geomatematikai Ankét, 2007. május 10-12., Mórahalom, Internetes konf. kiadv, http://www.sci.u-szeged.hu/foldtan/geomatematikai_szakosztaly/abstracts_2007/Turaiea.pdf, 2007

Herczeg Á.: **A "GEO" adatok közzétételét támogató "GEOMEDIA WEB MAP" alatti rendszer fejlesztése, MS thesis**, Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszék könyvtára, 2007

E. Turai, M. Dobróka, N. P. Szabó: **3D Electromagnetic inversion over a near surface oil contaminated model**, Near Surface 2007, 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, 3-5 Sept. 2007, Istanbul, Conf. CD, ISBN 978-90-73781-81-8, E. A. N.:P31 pp. 1-5., 2007

Herczeg Á.: **Geo-adatbázisok elérése, megjelenítése és feldolgozása Interneten keresztül**, Doktoranduszok Fóruma 2007, Miskolci Egyetem, 2007. november 13., Miskolc, 2007

Á. Herczeg: **Development of a Web based GIS solution for publishing the Hungarian Geophysical Exploration meta-databases by GeoMedia WebMap Professional**, Intergraph Online Research Library, <http://synergy.intergraph.com/catalogfiles/documents/2062.pdf>, 2008

E. Turai, N. P. Szabó, P. Vass: **Analysis of Electromagnetic Parameters for the Application in Environmental Protection**, Intergraph Online Research Library, <http://synergy.intergraph.com/catalogfiles/documents/2063.pdf>, 2008

M. Dobróka, Á. Herczeg, E. Turai: **GIS supported soil contamination detection and characterization**, microCAD'2008. Miskolc, 20-21 March 2008, Section A: Waste Processing, Recycling, ISBN 978-963-661-812-Ö, pp. 23-28., 2008

Herczeg Á.: **Talajszennyeződés detektálásának és vizsgálatának támogatása geoinformatikai módszerekkel**, XXXIX. Ifjú Szakemberek Ankétja, Baja, 2008. március 28-29., Konferencia kiadvány, 23-24. o., 2008

M. Dobróka, Á. Herczeg, N. P. Szabó, E. Turai, P. Vass: **GIS-based system development for processing and publishing geophysical data**, IV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Debrecen, 2008. március 28-29., Konferencia kiadványa, REXPO Kft., 2008., ISBN 978-963-06-4625-3, pp. 112-117., 2008

A béléscsöves gerjesztésű EM frekvenciaszondázási mérések értelmezési-inverziós módszereinek kidolgozása (2. résztema)

Résztema vezető: Dr. Takács Ernő

A résztema keretében a szakirodalom kutatásra alapozva kezdődtek az algoritmusfejlesztések és az egyszerűbb algoritmusokra alapozott szoftverfejlesztések. A felszín közeli vetős szerkezetek és csővezetékek hatását a vertikális mágneses térkomponens (H_z) amplitúdó, valamint a horizontális elektromos és mágneses komponensek hányadosából képezhető főimpedanciák (Ex/Hy) amplitúdó- és fázisviszonyaira, az elméleti számítások mellett terepi tesztmérésekkel (két területen) is megvizsgáltuk. Az eredményekből tudományos dolgozat született (Dr. Takács E., Dr. Pethő G., Szabó I., 2005).

A földtani laterális ellenállás inhomogenitásokat jelző vertikális mágneses komponens vizsgálatára helyezve a hangsúlyt, elemeztük a felszín közeli vetős szerkezetek és csővezetékek hatását elméleti számítások és terepi tesztmérések segítségével.

Több inverziós algoritmust fejlesztettünk és teszteltünk, s az elvégzett vizsgálatok alapján kezdtük meg a béléscsöves gerjesztésű EM frekvenciaszondázások esetében használható szekunder komponenseket felhasználó inverziós algoritmusok kifejlesztését.

Numerikus szimulációval vizsgáltuk a béléscsöves gerjesztésű geoelektromos frekvencia-szondázások görbéin jelentkező éles interferenciás minimumnak, valamint az anomális azimutális elektromos összetevőnek a távolság növekedésével történő dominánssá válásának okát a primer teret is tartalmazó radiális elektromos összetevőhöz képest.

A béléscsöves gerjesztésű geoelektromos szondázások adatainak inverziójára - különös tekintettel az anomális komponensekre - elkészült a „Cube3Dinv” elnevezésű program. A direkt feladat megoldása integrálegyenletes, az inverz feladat megoldása pedig, konjugált gradiens módszerrel történik. A programmal végzett számítások igazolták (Szabó I., 2006; Takács E., Szabó I., 2006), hogy az elektromágneses tér gerjesztésére használt fúróluk környezetében lévő földtani szerkezetek, annak laterális határlapjai, a vertikális mágneses térerősség komponens (H_z), valamint a tangenciális - a vízszintes síkban a fúrólukat és mérési pontot összekötő egyenesre merőlegesen mért - elektromos térerősség komponens (E_ϕ) felszínen mérhető eloszlásainak együttes inverziójával megbízhatóan rekonstruálhatók.

A résztema eredményeiből a folyóirat cikkek és konferencia előadások mellett egy sikeresen megvédett MS diplomamunka (Szabó I., 2006: Béléscsöves gerjesztésű elektromágneses mérések inverziós feldolgozásának a vizsgálata, konzulens: Dr. Takács Ernő) született.

A résztemához kapcsolódó fontosabb tudományos közlételek a megjelenés időrendjében az alábbiak.

E. Takács, G. Pethő, I. Szabó: **Comparative investigations about the applicability of current density pseudo sections in the interpretation of 2D VLF vertical magnetic anomalies**, Acta G. et. G. Hung., Vol. 40 (2), pp. 127-146., 2005

K. Baracza, Á. Gyulai, T. Ormos, I. Szabó, E. Turai, M. Dobróka: ***The exploration of waste sites by means of geoelectric and seismic methods***, EGU General Assembly, Vienna, 24-29 April 2005., Conference CD, Abstract-Number: EGU05-A-05597, p. 1., 2005

K. Baracza, I. Szabó: ***Joint geoelectric-seismic and combined geoelectric function inversion to determine geological structures***, 5th International Conference of PhD students, Miskolc, 14-20 August 2005, Conference Book, pp. 235-240., 2005

K. Baracza, I. Szabó: ***3-D model-experiments in view of exploration of waste sites***, 5th International Conference of PhD students, Miskolc, 14-20 August 2005, Conference Book, pp. 1-6., 2005

Szabó I.: ***Közelítő 2D inverziós módszer VLF vertikális mágneses anomáliák értelmezésében***, Doktoranduszok Fóruma, Miskolc, 2005. november 9., Konferencia kiadvány, 87-93.o., 2005

Szabó I.: ***Felszíni Hz-adatok közelítő 2D inverziója***, XXXVI. Ifjú Szakemberek Ankétja, Sarlópuszta, 2005. április 1-2., Konferencia kiadvány, 36-37.o., 2005

Szabó I.: ***Felszínen mért vertikális mágneses komponens minősített inverziós vizsgálata egyenáramú esetben***, 2005 Őszi Ifjúsági Előadói Nap, Miskolc, 2005. december 9., 2005

Szabó I.: ***Béléscsöves gerjesztésű elektromágneses mérések inverziós feldolgozásának a vizsgálata, MS thesis***, Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszék könyvtára, 2006

Takács E., Szabó I.: ***Vizsgálatok fúrás-felszín geoelektromos mérések inverziójára***, Inverziós Ankét 2006, MTA Miskolci Akadémiai Bizottság Székháza, 2006. március 20-21., 2006

Az IP módszer környezetvizsgálati célú továbbfejlesztése (3. résztema)

Résztema vezető: Dr. Turai Endre

A résztema keretében elvégeztük TAU-transzformációval előállítható időállandó spektrum inverziós számításának továbbfejlesztését. A lokális inverziós algoritmusok mellett a globális inverziós módszerek alkalmazhatóságát is vizsgáltuk, linearizált és globális inverziós algoritmusokat megvalósító szoftverek kifejlesztésével és összehasonlításával. A linearizált és a globális inverziós módszereket egyaránt megvizsgáltuk az optimális számítási út kiválasztása céljából.

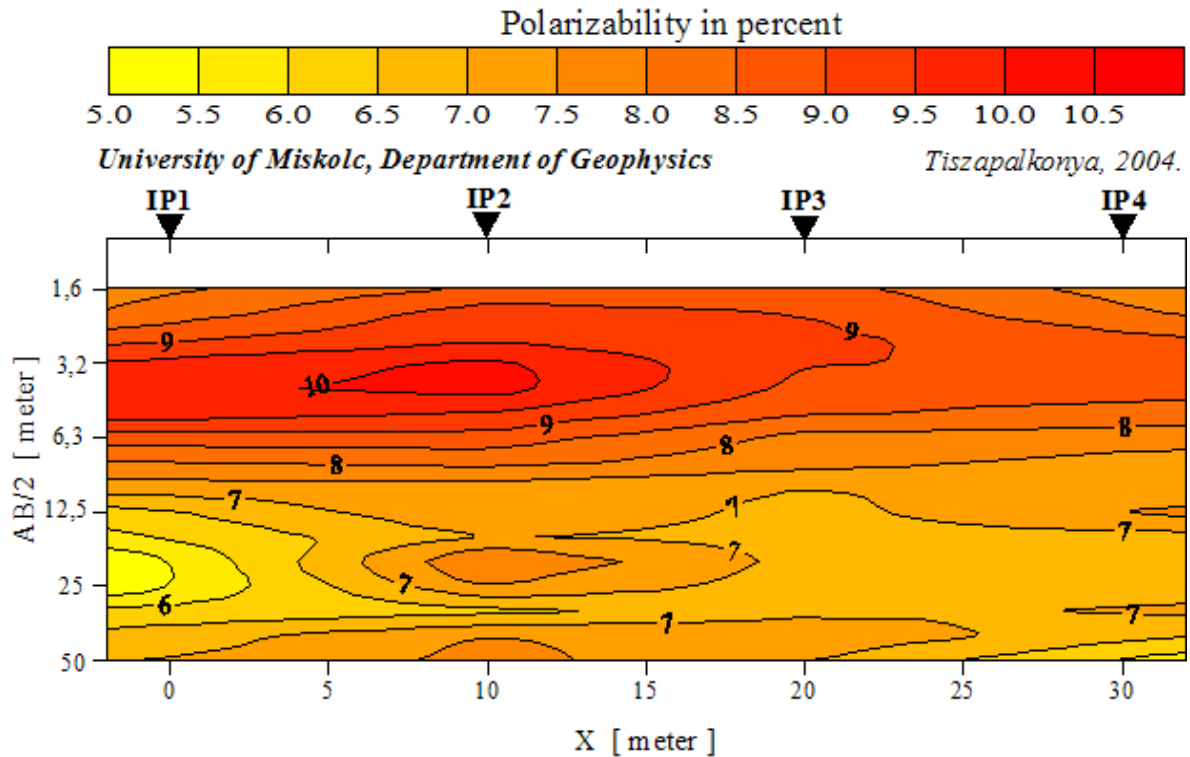
Ezek mellett megvizsgáltuk az időállandó spektrum, Fourier-spektrumok segítségével történő meghatározásának a lehetőségét. Ez utóbbi lehetőség, a szakirodalomból eddig nem ismert, alapvetően új inverziós utat jelenthet.

A kifejlesztett inverziós algoritmusok tesztelése mellett, az algoritmusok alapján megírt szoftverek segítségével elvégeztük a korábbi terepi mérések eredményeinek újabb kiértékelését és újraértelmezését.

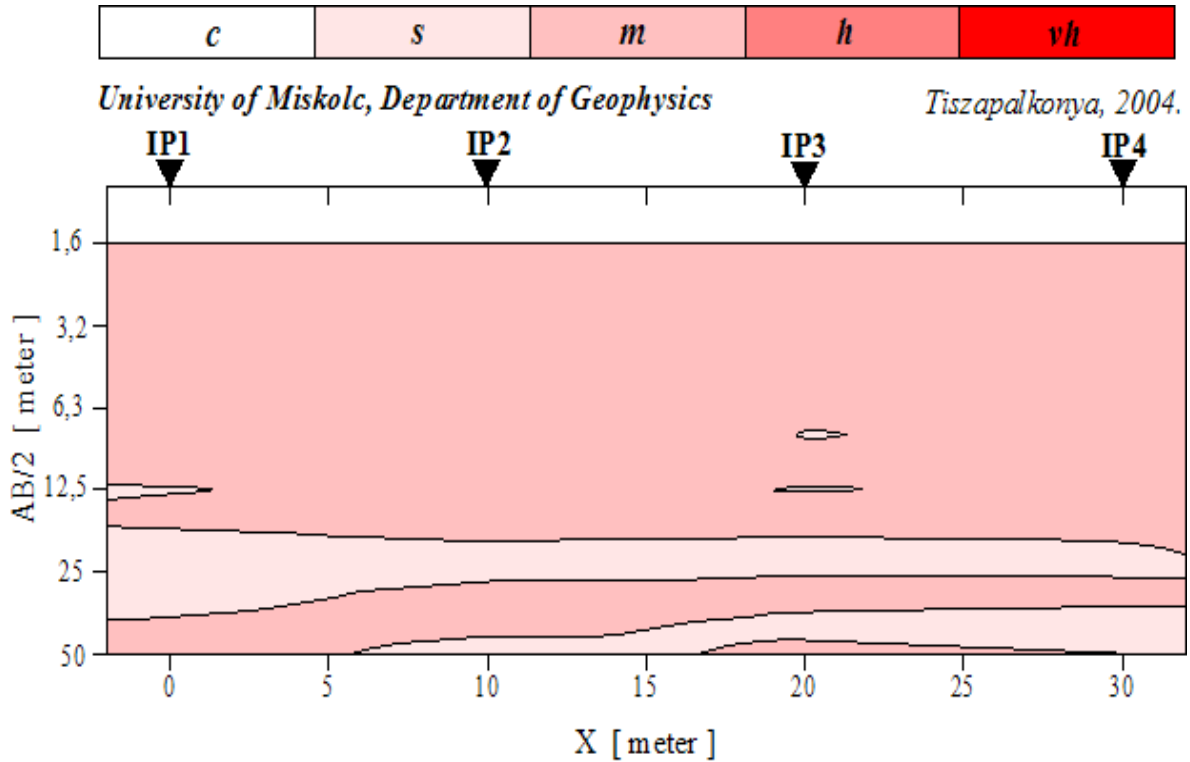
A korábbi terepi mérések (kommunális hulladéklerakók és szennyezett területek) adatainak újrafeldolgozása mellett több szennyezett területen (Nyékládháza - 2006, Berekböszörmény - 2007, Nagytétény - 2008) és egy salakpernye zagytározón (Tiszapalkonya - 2004) új terepi méréseket is végeztünk.

Ezek az eredmények igazolták, hogy a polarizációs szennyezettség mértékének a becslésére az időállandóval súlyozott amplitúdó spektrum érték (WAV - Weighted Amplitude Value) minden mérési területen alkalmas volt. A szennyezettség okának vonatkozásában megállapítható, hogy a kisebb időállandóval ($\tau < 1\text{sec}$) jelentkező komponensek a környezetszennyezés szempontjából veszélytelen filtrációs és membrán polarizációkhoz köthetők, melyeket a talaj elektromosan vezető fluidum tartalma, valamint a diszperz agyagtartalma okoz. A környezetszennyezés szempontjából veszélyes elektrokémiai és fémes hatások okozta redox és metallikus (elektroda) polarizációk viszont nagyobb időállandójú ($\tau > 1\text{sec}$) komponensekkel jelentkeznek. Az előzőek alapján tehát a környezeti szennyezés szempontjából veszélyesebb redox és fémes szennyezések által érintett térrészek lehatárolhatók.

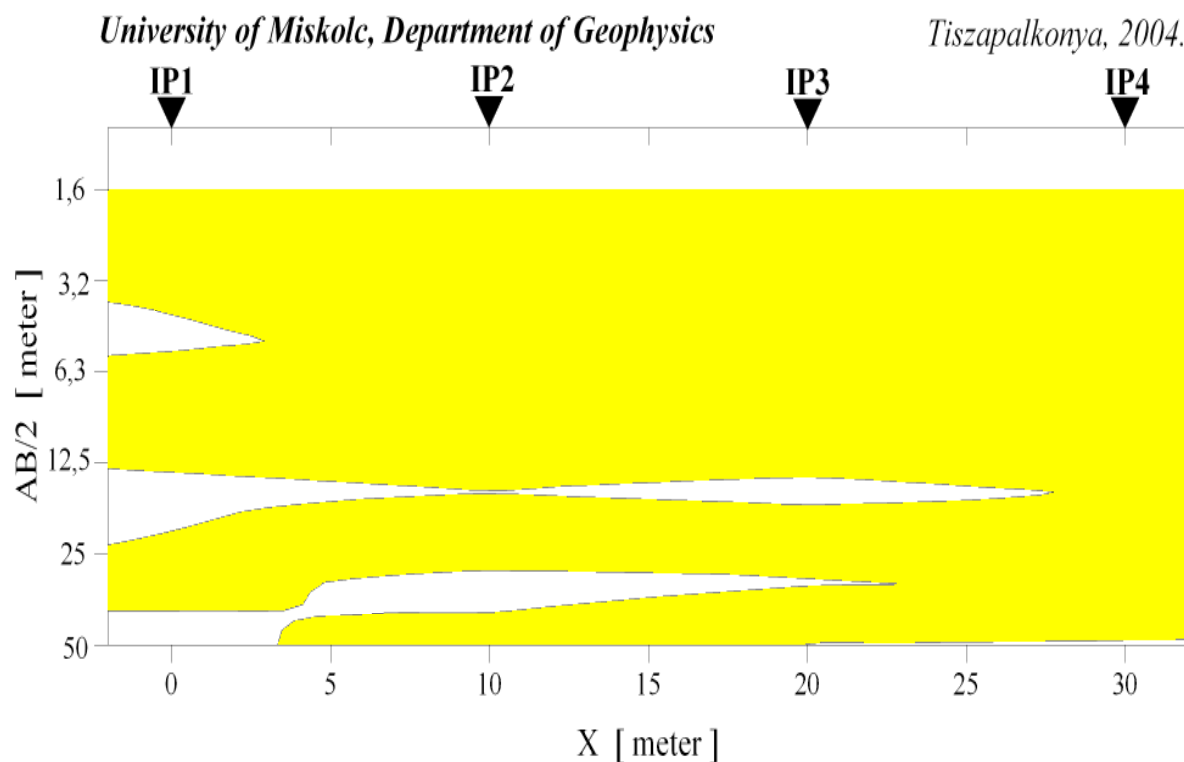
Az 5. ábra a zagytározó felett mért IP látszólagos polarizálhatóság paraméterének vertikális metszetét, a 6. ábra pedig a TAU-transzformációval meghatározott WAV paraméter alapján számítható szennyezettség vertikális metszetét mutatja. Megállapítható, hogy a salakpernye kis (2% és 5% közötti) és közepes (5% és 10% közötti) polarizációs szennyezettséget mutat. Az időállandó értékek eloszlása alapján a polarizáció típusa becsülhető (E. Turai, 2004) melyek földtani okait a II. táblázat mutatja. A filtrációs polarizáció elektromosan vezető fluidumot tartalmazó porózus talajokban és kőzetekben, a membrán polarizáció diszperz agyagtartalom jelenlétében, a redox polarizáció oxidációt illetve redukciót okozó szennyezőanyagok esetén, míg a fémes (metallikus) polarizáció fémesen vezető talajkomponensek megjelenésekor lép fel. Az időállandó értékekből megállapítható, hogy salakpernye zagytározó polarizációs szennyezettsége a diszperz agyagtartalom okozta membrán polarizációhoz (7. ábra) és a kémiai reakciók okozta redox polarizációhoz (7. ábra) köthető.



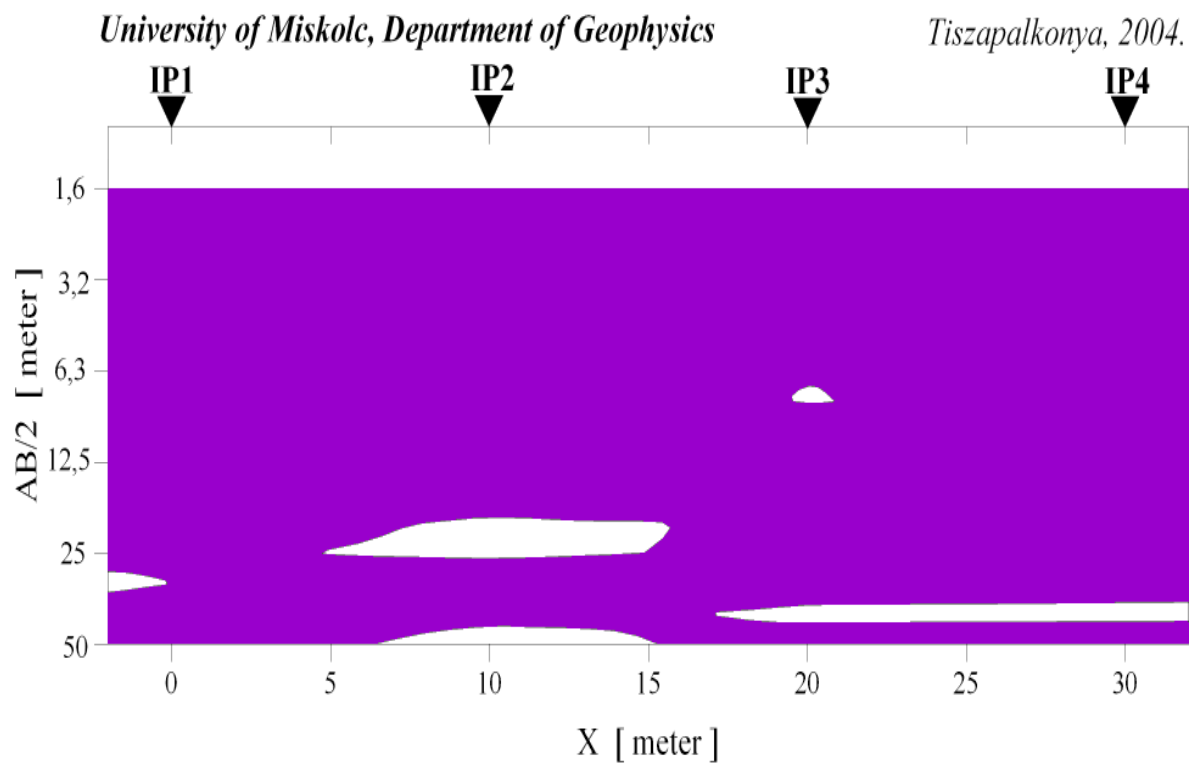
5. ábra Salakpernye zagytározó felett mért látszólagos polarizálhatóság vertikális metszete.



6. ábra Salakpernye zagytározó felett számított WAV metszet
(c - WAV < 2%, s - 2% < WAV < 5%, m - 5% < WAV < 10%, h - 10% < WAV < 20%,
vh - WAV > 20%).



7. ábra A membrán polarizáció elterjedésének vertikális metszete zagytározó esetén ($0.2\text{sec} < \tau < 0.8\text{sec}$).

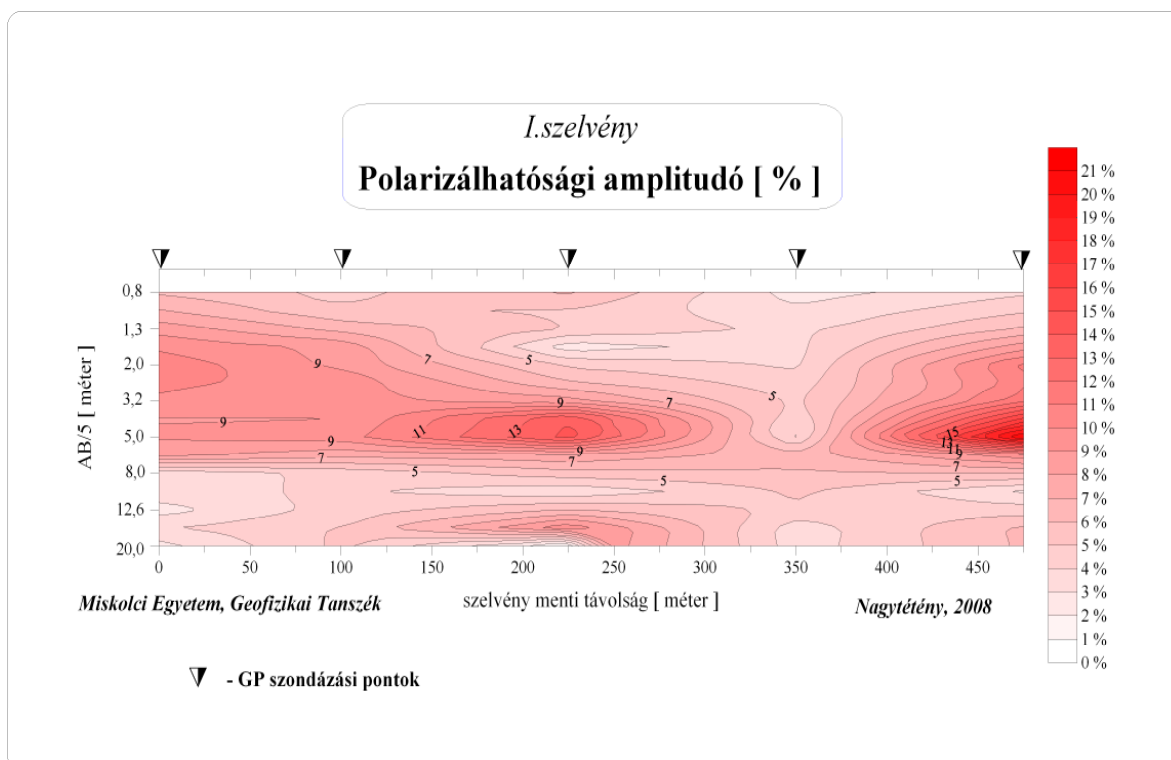


8. ábra A redox polarizáció elterjedésének vertikális metszete zagytározó esetén ($0.6\text{sec} < \tau < 1.2\text{sec}$).

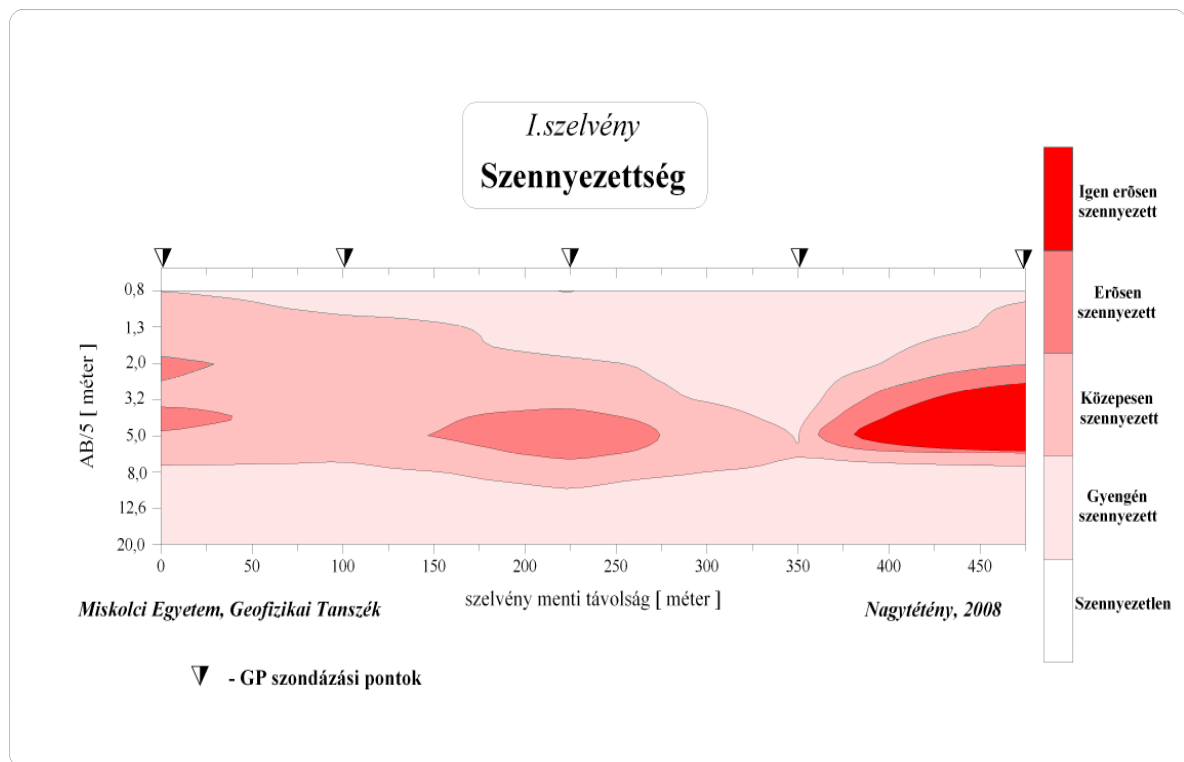
Type of polarization	Source of polarization
filtration polarization	- porous soil and rocks with conductive fluid,
membrane polarization	- porous soil and rocks with disperse clay and water,
electrochemical polarization	- chemical agent with thigh reactivity for oxidation or reduction,
metallic polarization	- metallic components in porous rocks with conductive fluid.

II. táblázat A polarizáció típusa és a polarizáció földtani okai (E Turai, 2004).

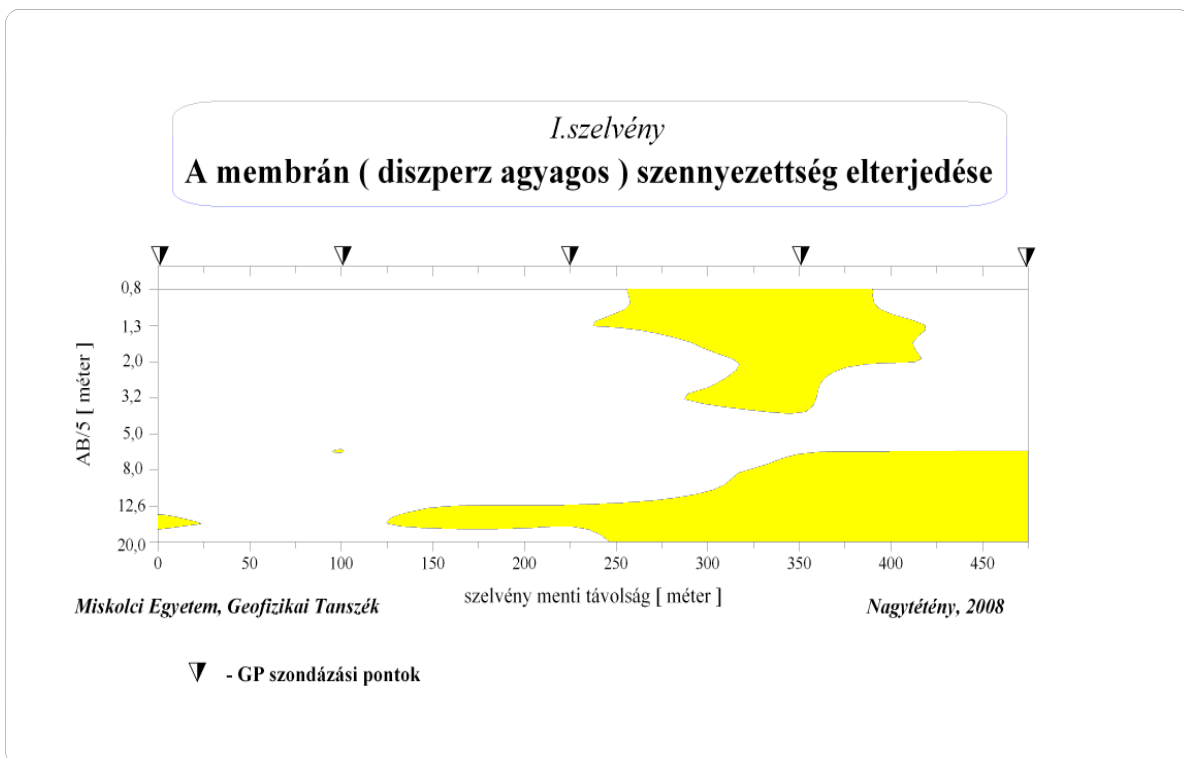
Az Nagytétényi kommunális hulladéklerakó felett 2008. júliusában mért IP mérések TAU-transzformációjának az (eddig még nem publikált) eredményeiből mutatjuk be az 1. szelvénymenti kiértékelést a következőkben. A 9. ábrán a látszólagos polarizálhatóság vertikális metszete, a 10. ábrán pedig a transzformációval kapott WAV értékek alapján becsült szennyezettség vertikális metszete látható. A 10. ábra alapján kijelenthető, hogy a vizsgált hulladéklerakónál igen erős szennyezés is fellép. Az időállandó értékek alapján megállapítható, hogy a polarizációt diszperz agyagos (11. ábra), redox (13. ábra) és fémes (13. ábra) szennyezettség okozta.



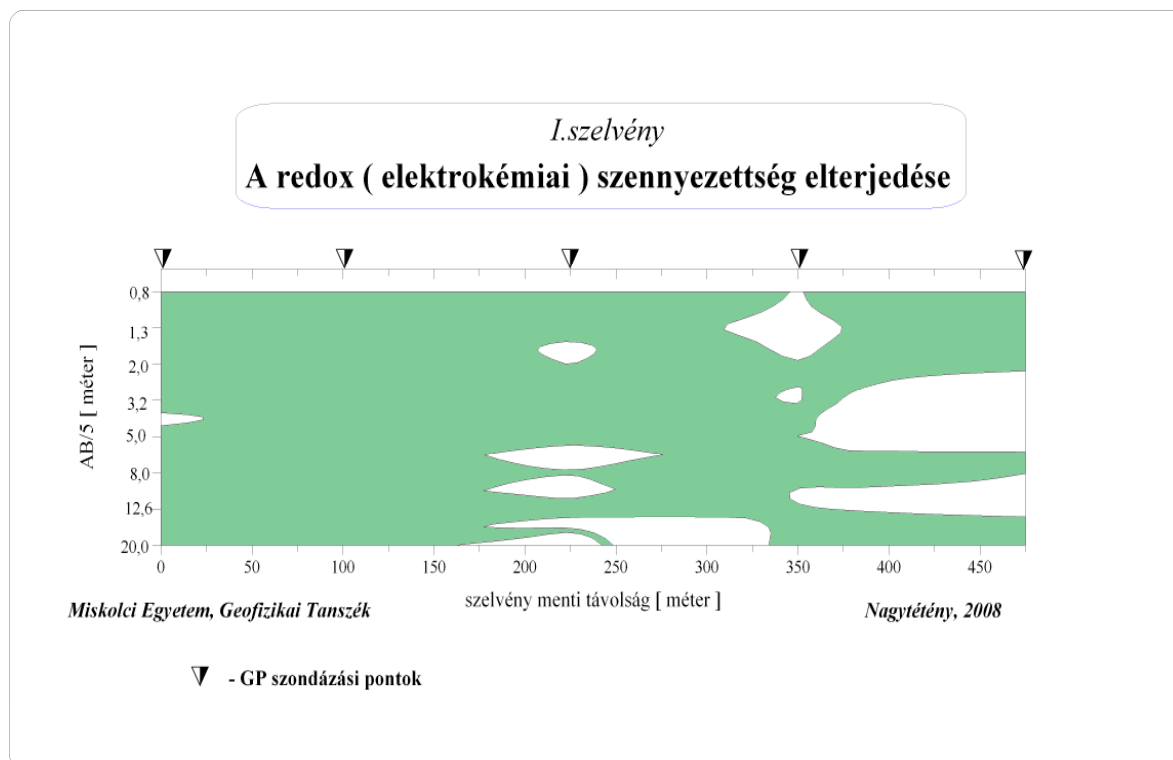
9. ábra Kommunális hulladéklerakó felett mért látszólagos polarizálhatóság vertikális metszete.



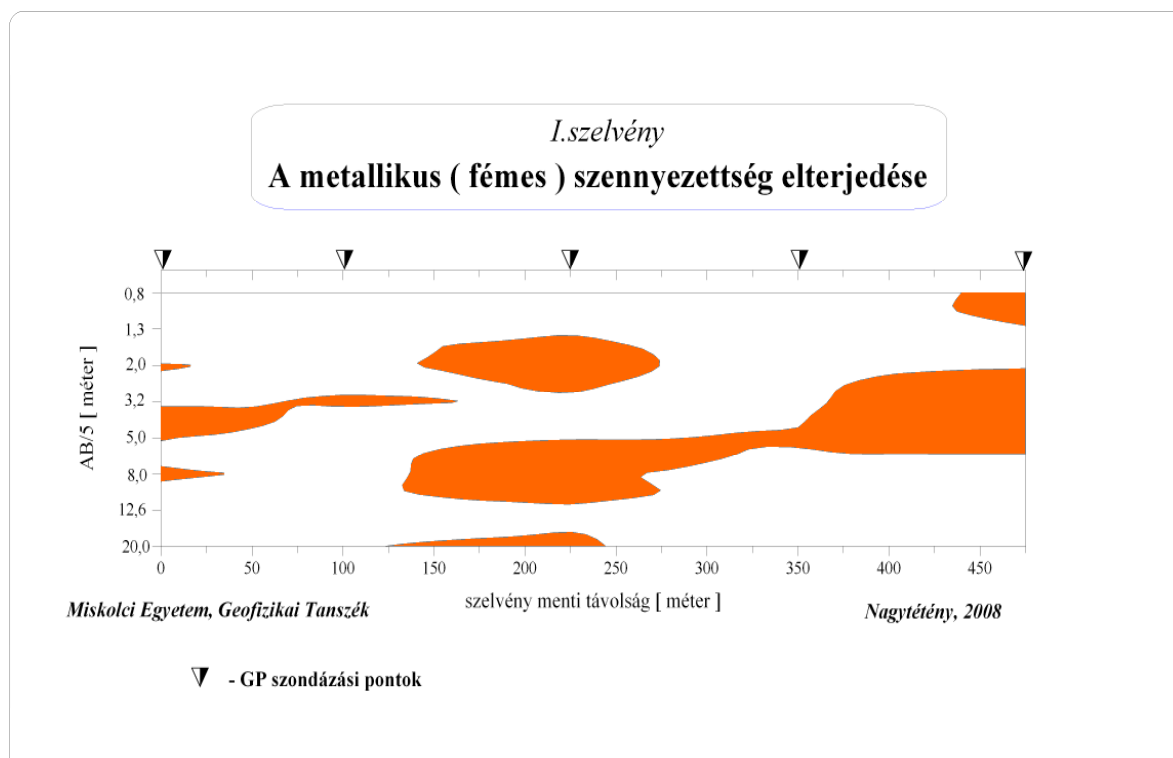
10. ábra Kommunális hulladéklerakó felett számított WAV metszet (szennyezetlen - $WAV < 2\%$, gyengén szennyezett - $2\% < WAV < 5\%$, közepesen szennyezett - $5\% < WAV < 10\%$, erősen szennyezett - $10\% < WAV < 20\%$, igen erősen szennyezett - $WAV > 20\%$).



11. ábra A membrán polarizáció elterjedésének vertikális metszete kommunális hulladéklerakó esetén ($0.2\text{sec} < \tau < 0.8\text{sec}$).

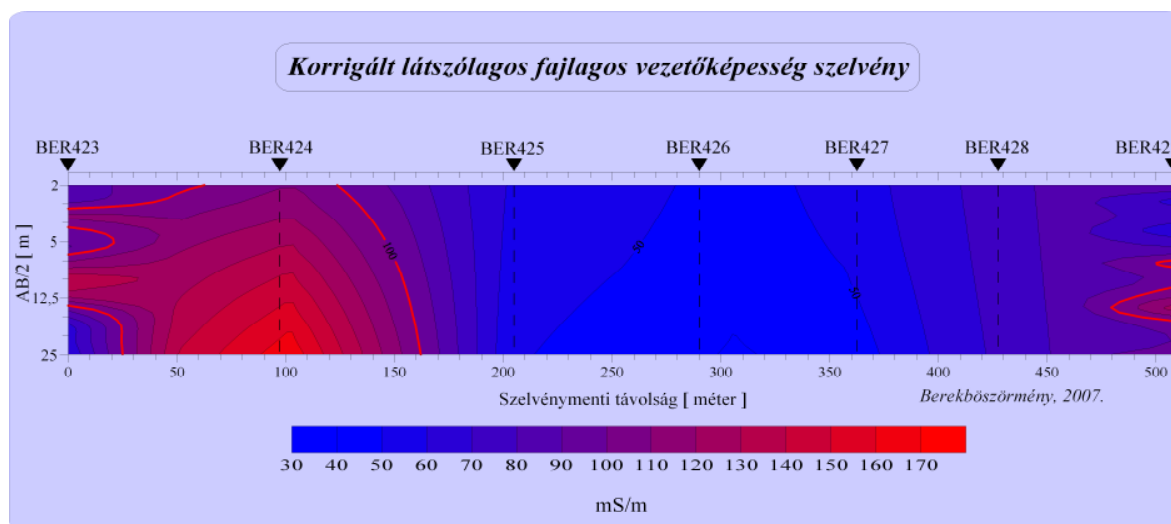


12. ábra A redox polarizáció elterjedésének vertikális metszete kommunális hulladéklerakó esetén ($0.6\text{sec} < \tau < 1.2\text{sec}$).

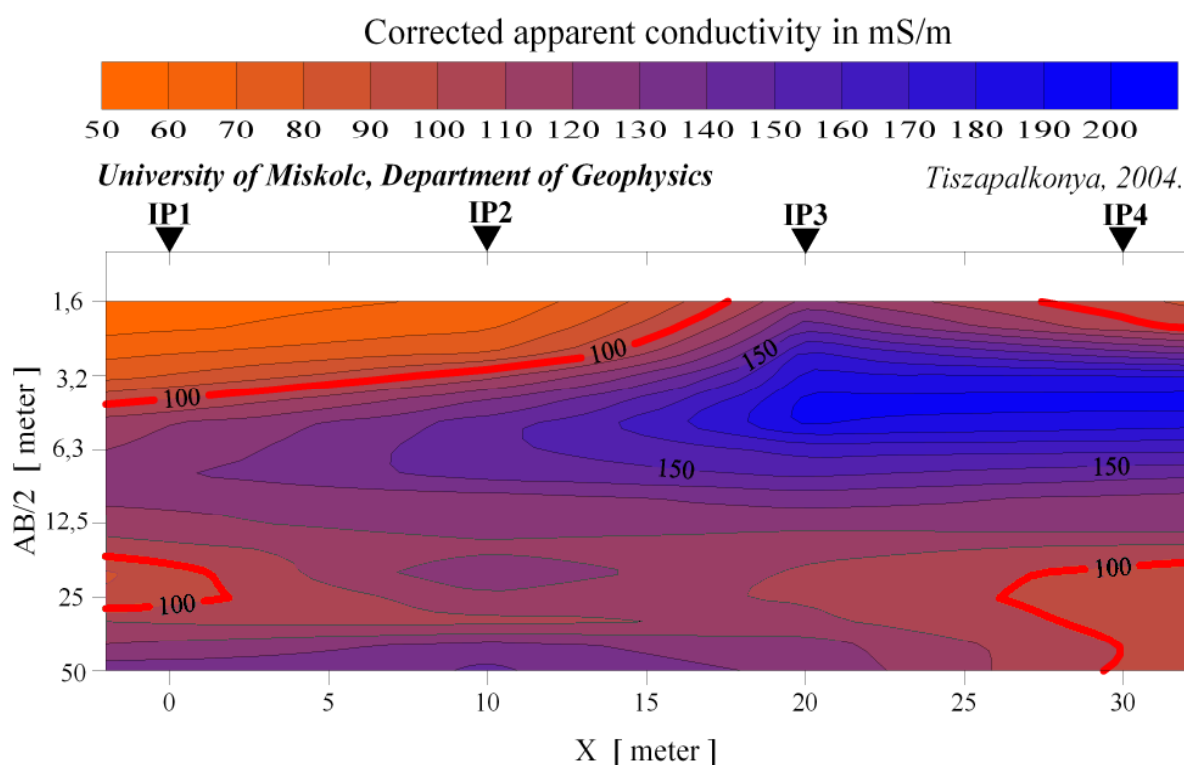


13. ábra A fémes polarizáció elterjedésének vertikális metszete kommunális hulladéklerakó esetén ($1.0\text{sec} < \tau$).

Bevezettük továbbá az időállandó spektrum ($w(\tau)$) és a fajlagos elektromos vezetőképesség (σ) szorzataként a korrigált elektromos vezetőképességet (σ_{corr}), amelynek a terepi mérések eredményeiből számított 100 mS/m körüli értéktől nagyobb tartománya szintén alkalmas az erősen szennyezett térrészek lehatárolására (E. Turai, M. Dobróka, P. Vass, 2008, valamint E. Turai, M. Dobróka, E. Takács, T. Ormos, 2008). A 14. ábrán a berekböszörményi hulladéklerakó, a 15. ábrán pedig a tiszapalkonyai zagytározó esetében számított korrigált vezetőképesség vertikális metszeteit mutatjuk be.



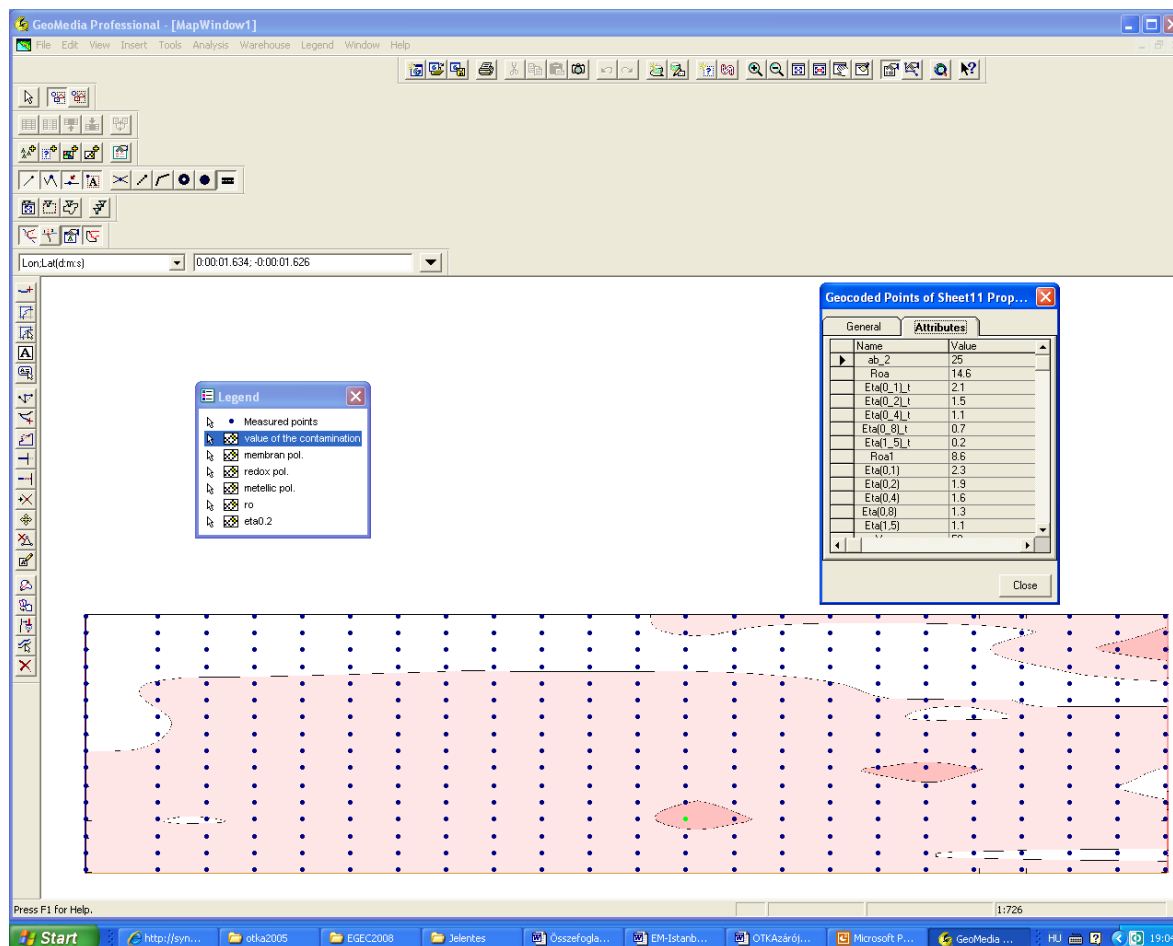
14. ábra Korrigált fajlagos vezetőképesség vertikális metszete (Berekböszörmény, 2007).



15. ábra Korrigált fajlagos vezetőképesség vertikális metszete (Tiszapalkonya, 2004).

Más forrásból (kari szakképzési támogatás) beszerzett műtielektródás geoelektromos és IP műszert (72 csatornás IRIS SYSCAL Pro) állítottunk üzembe, amely a jövőben az OTKA téma fejlesztési eredményeinek terepi tesztelését, majd alkalmazását jelentősen segítheti. A műszerrel 2006 őszén (Nyékládháza, kommunális hulladéklerakó) kezdtük meg a terepi tesztméréseket. A további területeken (Miskolc-Hejőpart, 2007; Berekbőszörmény, 2007; Nagytárány és Darvastó 2008) elvégzett mérések eredményei alapján megállapítható, hogy a TAU-transzformációs környezetvizsgálati módszer továbbfejlesztéssel alkalmas a műtielektródás IP műszerrel mért adatrendszerek feldolgozására. A továbbfejlesztés adatkonverziós interface szoftverek kifejlesztését jelenti, melyeket a jövőben saját erőből, ill. új pályázati források által nyújtott támogatásokból szeretnénk megvalósítani.

A hulladéklerakók felett mért IP adatokból számított, a szennyezés lehatárolását és minősítését segítő geoinformatikai rendszert fejlesztettünk ki GeoMedia Open GIS alatt (E. Turai, M. Dobróka, P. Vass, 2006, valamint M. Dobróka, Á. Herczeg, N. P. Szabó, E. Turai, P. Vass, 2008). A Balmazújváros területén mért IP adatok elemzését segíti a 16. ábrán bemutatott GIS alapú rendszer.



16. ábra Feldolgozott IP adatok elemzését segítő GIS.

A résztéma eredményeit több hazai és nemzetközi konferencián, a kapcsolódó konferencia kiadványokban tettük közzé, továbbá az eredményeket felhasználtuk a finn-

magyar Tét projekt keretében és az EGE (European Geotechnical and Environmental Course) 2005, 2006, 2007 és 2008. évi angol nyelvű nemzetközi egyetemi képzésben is.

Az alábbi, 2008. augusztus 13.-án kelt elektronikus levélből kitűnik, hogy az EAGE'2008 Róma nemzetközi konferencián megtartott előadásunkat (E. Turai, M. Dobróka, E. Takács, T. Ormos, 2008) felkérték a Geophysical Prospecting szakfolyóiratban való megjelentetésre.

From ws@eage.org Wed Aug 13 08:38:14 2008
Date: Wed, 13 Aug 2008 08:37:55 +0200
From: Wendel van der Sluis <ws@eage.org>
To: gfturai@gold.uni-miskolc.hu
Subject: Invitation to submit manuscript to Geophysical Prospecting

Dear Sir, Madam,

We are writing to you because of your paper P088, which you presented at the Annual Conference of the EAGE in Rome in June 2008.

The presentations have been evaluated and your paper has been strongly recommended for publication as a full paper in Geophysical Prospecting. Therefore, we warmly invite you to prepare and submit the paper for review.

Geophysical Prospecting publishes the best in primary research on the science of geophysics as it applies to the exploration, evaluation and extraction of earth resources. Drawing heavily on contributions from researchers in the oil and mineral exploration industries, it has a very practical slant. In recent years, we have been strengthening our position, the quotation impact factor has increased and publication time dramatically reduced. A good paper can be published in less than 8 months after first submission.

For these reasons, we think your paper fits very well in Geophysical Prospecting and we would very much appreciate if you accept our invitation. Please note that our invitation does not guarantee an automatic acceptance of your possible paper, as it would undergo our normal review process. However, since it was already appreciated by a few independent geophysicists, we feel that its publication probability is high.

Instructions for preparation of a manuscript for Geophysical Prospecting are found on the EAGE website <http://www.eage.org> (go to Publications, Geophysical Prospecting, Guidance for authors). Manuscripts are submitted via the EAGE's ScholarOne website: <http://mc.manuscriptcentral.com/gp>. Authors submitting for the first time are asked to create an account before logging in. The site offers a Help section and User Guide. If there are any questions, the

Editorial Office (ws@eage.org) will be pleased to offer you assistance.

Looking forward to an excellent contribution!

Kind regards,

Tijmen Jan Moser

Editor-in-Chief Geophysical Prospecting

Yours sincerely,

Wendel van der Sluis

EAGE Publications Coordinator

Phone: +31 (0)88 99 550 14

E-mail: ws@eage.org

P Please don't print this e-mail unless you really need to.

Az előző felkérés adta lehetőséggel élni szeretnénk.

A résztémához az alábbi fontosabb tudományos közlések kapcsolódnak a megjelenés időrendjében.

E. Turai: ***IP data processing results from using TAU-transformation to determine time-constant spectra***, Geophysical Transactions, Vol. 44. No. 3-4., pp. 301-312., 2004

E. Turai: ***Introduction to IP methods and interpretation in time-domain using TAU-transformation of IP curves.***, Tét (SF-8/2001) finn-magyar továbbképző konferencia, 2004. 11. 08.-2004. 11. 12., Miskolci Egyetem, Miskolc, pp. 1-22., 2004

M. Dobróka: ***Introduction to geophysical inversion and combined application of the geophysical inversion and IP methods***, Tét (SF-8/2001) finn-magyar továbbképző konferencia, 2004. 11. 08.-2004. 11. 12., Miskolci Egyetem, Miskolc, 2004

E. Turai, M. Dobróka: ***New results in the Waste Site characterization using TAU-transformation of Time-Domain IP Data***, EGU General Assembly, Vienna, 24-29 April 2005., Conference CD, Abstract-Number: EGU05-A-00835, pp. 1-2., 2005

Turai E., Dobróka M.: ***Hulladéklerakók jellemzése az IP adatok TAU-transzformációja segítségével / Characterization of the Waste Sites using TAU-Transformation of IP Data***, Környezettudományi Konferencia, 2005. március 17-18., Kolozsvár, Konferencia CD, 1-25.o., 2005

Vass P.: **Fourier-transzformáció, mint inverz probléma**, Doktoranduszok Fóruma, Miskolc, 2005. november 9., Konferencia kiadvány, 120-127. o., 2005

Dobróka M., Vass P.: **A Fourier-transzformált inverziós előállítás**, Inverziós Ankét 2006, MTA Miskolci Akadémiai Bizottság Székháza, 2006. március 20-21., 2006

Dobróka M., Vass P.: **A Fourier transzformáció, mint robusztus inverz feladat**, A magyar EAGE csoport és az ELGI közös előadói napja, ELGI - Budapest, 2006. november 16., 2006

E. Turai, M. Dobróka, P. Vass: **Newer results in the Waste Sites Characterization using TAU-Transformation of IP Data**, microCAD'2006 International Scientific Conference, Miskolc, 16-17 March 2006, Section B: Geoinformatics - Spatial Informatics, ISBN 963 661 700 7 Ö, pp. 57-62., 2006

E. Turai, M. Dobróka, P. Vass: **Method Development for Waste Site Characterization Using TAU-Transformation of IP Curves**, 68th EAGE Conference & Exhibition, Vienna, 12-15. June 2006, Extended abstracts, CD, ISBN 90-73781-00-0, Abstract-Number: H007, pp 1-5., 2006

M. Dobróka, E. Turai, P. Vass: **Solution of Near Surface Environmental Problems Using TAU-Transformation of IP Data**, Near Surface 2006, 12th European Meeting of EEG, Helsinki, 4-6 September 2006, Extended abstracts, CD, ISBN 90-73781-62-0, Abstract-Number: A019, pp 1-5., 2006

M. Dobróka, P. Vass: **Fourier Transform as a Robust Inverse Problem**, Near Surface 2006, 12th European Meeting of EEG, Helsinki, 4-6 September 2006, Extended abstracts, CD, ISBN 90-73781-62-0, Abstract-Number: P069, pp 1-5., 2006

P. Vass, M. Dobróka: **New method for the determination of Fourier transform of noisy data set**, microCAD'2006 International Scientific Conference, Miskolc, 16-17 March 2006, Section B: Geoinformatics - Spatial Informatics, ISBN 963 661 700 7 Ö, pp. 63-68., 2006

Turai E.: **A TAU transzformáció környezetvizsgálati alkalmazásainak eredményei**, X. Geomatikai Ankét, Mórahalom, 2006. május 18-20., Internetes konf. kiadv., http://www.sci.u-szeged.hu/foldtan/geomatikai_szakosztaly/abstracts_2006/Turaiea.pdf, 2006

Turai E., Dobróka M.: **Hulladéklerakók jellemzése az IP adatok TAU-transzformációja segítségével / Characterization of the Waste Sites using TAU-transformation of IP Data**, Környezettudományi Konferencia, 2005. március 17-18., Kolozsvár, Konferencia Kiadvány, ISBN(10) 973-7953-69-X, ISBN(13) 978-973-7953-69-8, 337-348. o., pp. 445., 464., 2006

Turai E., Dobróka M., Vass P.: **Az IP görbék Tau-transzformációját felhasználó módszer fejlesztése a hulladéklerakók jellemzésére**, A magyar EAGE csoport és az ELGI közös előadói napja, ELGI - Budapest, 2006. október 12., 2006

Vass P.: **Zajos adatsorok frekvencia spektrumának meghatározása inverziós módszerek segítségével**, MGE XXXVII. Ifjú Szakemberek Ankétja, Balatonkenese, 2006. március 31.-április 1., Konferencia kiadvány és CD, 32-33. o., 2006

Vass P.: **Zajos adatsorok frekvencia spektrumának meghatározása inverziós módszerek segítségével**, Földtani Kutatás internetes szakmai folyóirat, 2006. II. szám, www.foldtanikutatas.hu, 1-17. o., 2006

Vass P.: **Zajos adatsorok frekvencia spektrumának meghatározása inverziós módszerek segítségével**, Geofizikai – Földtani – Környezetvédelmi Vándorgyűlés és Kiállítás, Zalakaros, 2006. szeptember 21-23., 32-33. o., 2006

Vass P.: **Inverziós módszerek alkalmazás a frekvenciaspektrum előállítására**, Doktoranduszok Fóruma, Miskolci Egyetem, 2006. november 9., Miskolc, 2006

P. Vass: **Determining the frequency spectrum of noisy data sets by geophysical inversion method**, 6th International Conference of PhD students, Miskolc, 12-18 August 2007, Conference Book, pp. 167-173., 2007

M. Dobróka, Á. Herczeg, E. Turai: **GIS supported soil contamination detection and characterization**, microCAD'2008. Miskolc, 20-21 March 2008, Section A: Waste Processing, Recycling, ISBN 978-963-661-812-Ö, pp. 23-28., 2008

Herczeg Á.: **Talajszennyeződés detektálásának és vizsgálatának támogatása geoinformatikai módszerekkel**, XXXIX. Ifjú Szakemberek Ankétja, Baja, 2008. március 28-29., Konferencia kiadvány, 23-24. o., 2008

E. Turai, M. Dobróka, P. Vass: **TAU-transformation of Time-Domain IP data measured over a slag ash site**, IV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Debrecen, 2008. március 28-29., Konferencia kiadványa, REXPO Kft., 2008., ISBN 978-963-06-4625-3, pp. 269-274., 2008

Turai E., Gyulai Á.: **Salakpernye tározó geoelektromos vizsgálata**, Inverziós Ankét 2008, MTA Miskolci Akadémiai Bizottság Székháza, 2008. április 28-29., 2008

E. Turai, M. Dobróka, E. Takács, T. Ormos: **Newer Results of Environmental Analysis Using TAU-transformation of Time-domain IP Data**, 70th EAGE Conference & Exhibition, 9-12 June 2008, Rome, Extended Abstracts, CD, ISBN 978-90-73781-53-5, Abstract-Number: P088, pp. 1-5., 2008

Összefoglalás

Az OTKA téma keretében kitűzött feladatokat sikerült maradéktalanul megoldani. Az elért eredmények az elektromágneses módszerek földtani információtartalmának hatékonyabb és stabilabb feltárását segítik elő.

A 3D hibrid integrálegyenletes elektromágneses modellezés stabilitásának növelését célzó fejlesztéseket végeztünk, amely lehetővé tette a globális inverziós rendszerek előremodellezési részében való alkalmazást.

A továbbfejlesztett algoritmusok alapján 3D elektromágneses globális inverziós szoftvereket fejlesztettünk ki. A kifejlesztett inverziós szoftverekkel felszínközeli 3D olajszennyezések inverziós rekonstrukciójának az elemzését végeztük el az olajszennyezések felett számított EM látszólagos fajlagos ellenállás és a fázis adatok alapján.

A síkhullámú elektromágneses módszerek esetére térinformatikai (GIS) alapú rendszerfejlesztést végeztünk. Olyan adatbázist állítottuk össze, amely a GeoMedia nyitott térinformatikai szoftver alá grafikus-alfanumerikus kapcsolatrendszerrel csatlakoztatható, s a modellezéssel kiszámítható elektromágneses paramétereket a térinformatikai rendszer tematikus dimenzióiként definiálva, lehetővé válik az EM paraméterek komplex képi és numerikus elemzése.

A térinformatikai adatbázis alapján a GeoMedia Open GIS alatt működő geoinformatikai rendszert hoztunk létre.

A GIS adatbázis EM primer (elektromos és mágneses komplex térerősség komponensek) és szekunder (frekvenciafüggő fajlagos ellenállás, impedanciák, impedancia fázis, stb.) tesztadatait a saját fejlesztésű 3D hibrid integrálegyenletes eljárással számítottuk ki felszínközeli olajszennyezést tartalmazó modellek és kommunális hulladéklerakó modellek esetére.

Sikeresen pályáztunk az Intergraph RRL (Registered Research Laboratory) programjába és 2006 januárjától az Intergraph által támogatott kutatóhely lettünk. GeoMedia WebMap alatt kifejlesztettük a GIS alapú rendszer hálózati kliens verzióját.

Elméleti számításokkal és terepi mérésekkel vizsgáltuk a felszín közeli vetős szerkezetek és a csővezetékek hatását a vertikális mágneses térkomponens amplitúdó, valamint a horizontális elektromos és mágneses komponensek hányadosából képezhető főimpedanciák amplitúdó és fázisviszonyaira.

Több inverziós algoritmust fejlesztettünk és teszteltünk a béléscsöves gerjesztésű EM frekvenciaszondázások esetében használható szekunder komponenseket esetére.

A béléscsöves gerjesztésű geoelektromos szondázások adatainak inverziójára - különös tekintettel az anomális komponensekre - elkészült a „Cube3Dinv” elnevezésű program, melyben a direkt feladat megoldása integrálegyenletes, az inverz feladat megoldása pedig konjugált gradiens módszerrel történik.

Az IP módszer esetén elvégeztük TAU-transzformációval előállítható időállandó spektrum inverziós számításának továbbfejlesztését. A lokális inverziós algoritmusok mellett vizsgáltuk a globális inverziós módszerek alkalmazhatóságát.

Megvizsgáltuk az időálló spektrum, Fourier-spektrumok segítségével történő meghatározásának a lehetőségét. Ez a lehetőség a szakirodalomból eddig nem ismert, alapvetően új inverziós utat jelenthet.

A korábbi terepi mérések (kommunális hulladéklerakók és szennyezett területek) adatainak újrafeldolgozása mellett három szennyezett területen (Nyékládháza - 2006, Berekböszörmény - 2007, Nagytétény -2008) és egy zagytározón (Tiszapalkonya - 2004) új terepi méréseket is végeztünk.

Az eredmények igazolták, hogy a polarizációs szennyezettség mértékének a becslésére alkalmas az időállóval súlyozott amplitúdó spektrum érték (WAV - Weighted Amplitude Value). A szennyezettség okának tekintetében megállapítható, hogy a kisebb időállóval ($\tau < 1\text{sec}$) jelentkező komponensek a környezetszennyezés szempontjából veszélytelen filtrációs és membrán polarizációkhoz köthetők, melyeket a talaj elektromosan vezető fluidum tartalma, valamint a diszperz agyagtartalma okoz. A környezetszennyezés szempontjából veszélyes elektrokémiai és fémes hatások okozta redox és metallikus (elektróda) polarizációk viszont nagyobb időállójú ($\tau > 1\text{sec}$) komponensekkel jelentkeznek. Az előzőek alapján tehát a környezeti szennyezés szempontjából veszélyesebb redox és fémes szennyezések által érintett térrészek lehatárolhatók.

Bevezettük továbbá az időálló spektrum ($w(\tau)$) és a fajlagos elektromos vezetőképesség (σ) szorzataként a korrigált elektromos vezetőképességet (σ_{corr}), amely szintén alkalmas a szennyezett térrészek lehatárolására.

Más forrásból (kari) beszerzett múltielektrodás geoelektromos és IP műszert (72 csatornás IRIS SYSCAL Pro) állítottunk üzembe, amely a jövőben az OTKA téma fejlesztési eredményeinek terepi alkalmazását jelentősen segítheti.

A hulladéklerakók felett mért IP adatokból számított, a szennyezés lehatárolását és minősítését segítő geoinformatikai rendszert fejlesztettünk ki GeoMedia Open GIS alatt.

Az OTKA T046765 számú témához kapcsolódóan a „közlemények” alatt részletezett 8 db megjelent tudományos folyóiratcikk, 22 db kiadvánnyal, vagy absztrakttal közzétetten megtartott nemzetközi konferencia előadás, 11 db kiadvánnyal, vagy absztrakttal közzétetten megtartott hazai konferencia előadás, 12 db kiadvány nélkül megtartott hazai konferencia előadás született, valamint 4 db sikeresen megvédett MS disszertáció elkészítése történt. A kutatás eredményeit felhasználtuk továbbá az EGEK 2005, 2006, 2007 és 2008. évi nemzetközi egyetemi képzésben.

Tartalomjegyzék

	Oldal
Bevezetés	2.
Az eredmények rövid összefoglalása	3.
Sort summary of results	3.
Többdimenziós integrálegyenletes numerikus modellezési módszerek fejlesztése	4.
A béléscsőves gerjesztésű EM frekvenciaszondázási mérések értelmezési-inverziós módszereinek kidolgozása	11.
Az IP módszer környezetvizsgálati célú továbbfejlesztése	13.
Összefoglalás	25.